

**ФТТ-2007**

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**Международной научной конференции  
23–26 октября 2007 г., Минск**

**Том 3**



# ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В КРЕМНИИ ПРИ ИОННО-АССИСТИРОВАННОМ НАНЕСЕНИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК

И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, О.М. Михалкович  
Белорусский государственный педагогический университет,  
220050, г. Минск, Советская 18

## Введение

Ионно-ассистированное нанесение покрытий (ИАНП) на кремний и на поверхности изделий из других материалов применяется для модифицирования разнообразных свойств поверхности изделий [1-3]. При этом известно что свойства модифицированной поверхности во многом определяются рядом факторов, среди которых такие как: элементный и фазовый состав покрытий, их структура, адгезия к подложке, топография и др. [4-6]. Поэтому при проведении исследований по нанесению покрытий необходима диагностика поверхности конструкции покрытие/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, повреждения структуры кремния, модифицированного ионно-ассистированным нанесением покрытий в условиях сомооблучения (ИАНПУС).

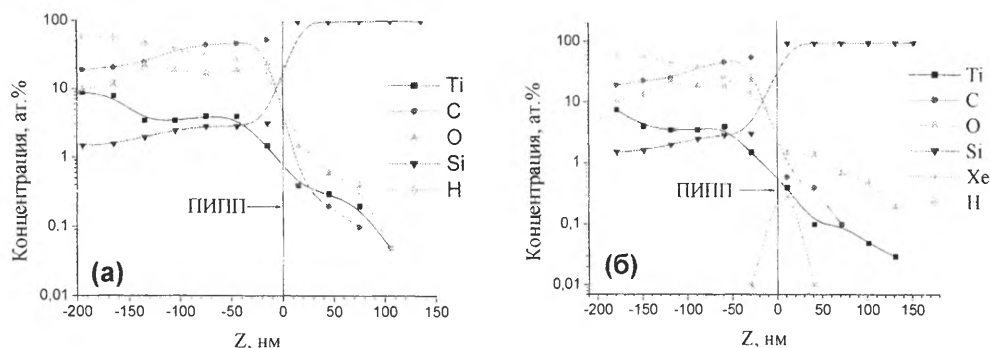
## Методика эксперимента

Для осаждения металлосодержащих (Ti, Co) покрытий на кремний в условиях ионного ассистирования использовали резонансный источник вакуумной дуговой плазмы (вакуум  $10^{-2}$  Па) [7]. Такой метод нанесения покрытий позволяет совместить процесс физического напыления нейтральной фракции металла с облучением формирующегося покрытия ионами ионизированной фракции того же металла. В настоящем исследовании ускоряющее напряжение было 7 кВ.

В качестве подложки использовали пластины (100) Si. Отношение плотности потоков ионизированной и нейтральной фракции осаждаемого на подложку материала при нанесении покрытий составляло 0.2-0.4, скорость осаждения покрытий была 0.3-0.4 нм/мин. Элементный послойный анализ конструкций пленка/кремний выполняли используя резерфордовское обратное рассеяние (ROP) ионов гелия  $\text{He}^+$  с  $E_0 = 2.0$  МэВ и компьютерное моделирование экспериментальных спектров ROP по программе RUMP [8]. При процессе ИАНП в результате перемешивания атомов подложки и осаждаемого покрытия в каскадах атомных столкновений, создаваемых ассистирующими ионами при торможении в области межфазной границы, понятие границы раздела фаз покрытие-подложка – условное. Поэтому для построения глубинных профилей компонентов изучаемых конструкций мы используем понятие положения исходной поверхности подложки (ПИПП), которое определяли в экспериментах по предварительному перед нанесением покрытия введению ионной имплантацией в часть Si пластины Хе маркера с энергией 10 или 40 кэВ интегральным потоком  $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$  или  $27 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$  соответственно. Для изучения пространственного распределения радиационных дефектов в конструкциях покрытие/подложка применяли метод ROP/КИ с энергией ионов  $\text{He}^+$  2 МэВ и геометрией рассеяния: углы влета, вылета и рассеяния были  $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=12^\circ$ ,  $\theta_3=168^\circ$  соответственно, а также методику [9]. Разрешение детектора было 25 кэВ. Величины среднего проективного пробега элементов в матрице были рассчитаны при помощи компьютерной программы TRIM-89 [10].

## Результаты и их обсуждение

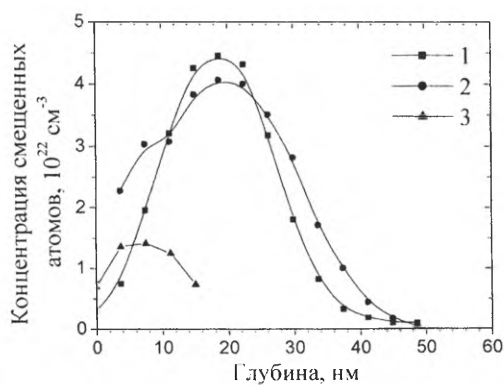
На рис.1 показаны профили пространственного распределения компонентов конструкции, полученной при нанесении титановой пленки на Si без введенного ксенонового маркера (а) и с ним ( $E = 10$  кэВ) (б).



Профиль Ti характеризуется концентрацией, снижающейся от 9 ат % на поверхности, до 1,5 ат % в области межфазной границы системы. Более того, атомы Ti идентифицируются в Si на глубине 105 нм с концентрацией  $\sim 0.03$  ат %, что свидетельствует об их радиационно-стимулированной диффузии вглубь в процессе нарастания покрытия под радиационным воздействием ассистирующих ионов. Кислород распределен в покрытии неравномерно: его концентрация возрастает с 10 ат % на поверхности покрытия до 25 ат % вблизи ПИПП, а в кремнии, хотя его концентрация снижается в несколько раз, но остается выше, чем концентрация Ti. Профиль C качественно подобен пространственному распределению кислорода в покрытии, однако его концентрация примерно в 2 раза выше. Вместе с тем в подложке количество углерода в  $\sim 2$  раза ниже количества кислорода на сопоставимой глубине. Профиль атомов водорода в покрытии качественно согласуется с пространственным распределением титана, однако их концентрация в покрытии на порядок по величине выше. В кремнии концентрация водорода равна нулю. Появление в изучаемых покрытиях O, C, и H мы связываем, с осаждением на поверхность покрытия в процессе его роста совместно с атомами Ti углеводородной фракции и O из остаточного вакуума в мишенной камере, откачиваемой диффузионным паромасляным насосом.

Анализируя полученные результаты отметим, что атомы титана и кислорода проникают в кремниевую подложку на  $\sim 20$  нм глубже, если в систему покрытие/подложка предварительно вводился маркер ксенона. Ионы  $\text{Xe}^+$ , являясь маркером, определяют положение поверхности исходной подложки. Диффундируя на большую глубину, атомы Ti увлекают за собой атомы кислорода. Это можно объяснить тем, что при введении ксенонового маркера в кремниевой подложке образуются дефекты, по которым и происходит усиленное проникновение атомов покрытия, а также взаимодействием между собой атомов титана и кислорода. При этом концентрация кислорода на сопоставимой глубине в кремнии с введенным маркером выше, чем в образцах только с покрытием, рис. 1 а и б.

На рис. 2 представлены распределения по глубине радиационных дефектов в кремнии с введенным Xe маркером ( $E = 40$  кэВ) (1), с кобальтовым покрытием на исходном Si (2) и на Si с Xe маркером (3).



Экспериментально рассчитанный профиль дефектов соответствует теоретически полученному по программе TRIM. Так для ионов ксенона с энергией 40 кэВ средний проективный пробег и страгглинг пробега составляют  $R_p \pm \Delta R_p = 27,1 \pm 7,1$  нм.

Характер повреждения структуры кремния при его модифицировании, отсутствие “полочки” на профиле дефектов, генерируемых ионами  $\text{Co}^+$ , кривая 2 на рис. 2, свидетельствует о том, что смещенные в междоузлия атомы Si диффундируют на поверхность и далее входят в состав покрытия. Максимальная концентрация смещенных из узлов атомов кремния, полученная при имплантации ионов  $\text{Xe}^+$ , уменьшается при последующем ионно-ассистированном нанесении кобальтового покрытия, что объясняется нами активацией миграционных процессов в глубь и к поверхности кремния, что также способствует вхождению атомов кремния в покрытие, с одной стороны, и миграции атомов компонентов покрытия в глубь подложки.

### **Заключение**

С использованием метода резерфордского обратного рассеяния в сочетании с каналированием ионов гелия и моделирующей программы RUMP получены профили радиационных дефектов в кремнии при введении Хе маркера и ионно-ассистированном нанесении титановых и кобальтовых покрытий. Установлен композиционный состав покрытий, в которые входят кроме атомов металлов атомы водорода, углерода, кислорода и кремния. Определено влияние радиационных дефектов на диффузию компонентов покрытия в глубь подложки и атомов кремния в покрытие. Диффузия компонентов покрытия в подложку усиливается при предварительном введении Хе маркера.

Часть материалов исследования получена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Ф06-300.

### **Список литературы**

1. Gotoh Y., Amioka T., Tsuji H., Ishikawa J. // Surf. Coat. Technol. V. 158-159. (2002). P.729
2. Tashlykov I.S., Kasperovich A.V., Wolf G. // Surf. Coat. Techn. V. 158-159. (2002). P. 498
3. Тульев В.В., Поплавский В.В., Ташлыков И.С. Матер. 4 межд. конф. Взаимодействие излучений с твёрдым телом -2001. Минск, 3-5 окт. Т. 1. (2001). С. 312
4. Colligon J. // J. Vac. Sci. Technol. V. 13. (1995). P.1649
5. Wolf. // Surf. Coat. Technol. V. 43/44. (1990). P. 920
6. Ostrovskaya L. Yu., Dementiev A.P., Kulakova I.I., Ralchenko V.G. // Diamond Relat.Mater. V. 14. (2005). P. 486
7. Ташлыков И.С., Белый И.М. Способ нанесения покрытий. Патент РБ №2324. 1С1 ВУ, С23 С4/12, С4/18, С14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. РБ №1.
8. Doolittle L.R. //Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. V. В 9. (1985). P. 227
9. Bögh E. // Canad. J. of Phys. V. 46. (1968). P. 653
10. Zigler J.F., Biersak J.P., Littmark U. Pergamon Press, Oxford. V.1. (1985.) P. 321